

Miika Karhumaa

LÄHES NOLLAENERGIATALO OULUN VASKIKANKAALLE

LÄHES NOLLAENERGIATALO OULUN VASKIKANKAALLE

Miika Karhumaa
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennetekniikka

Tekijä(t): Miika Karhumaa

Opinnäytetyön nimi: Lähes nollaenergiatalo Oulun Vaskikankaalle

Työn ohjaaja(t): Pekka Harju

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 42 + 7 liitettä

EU direktiivi 2010/31/EU määrää jäsenvaltioitaan edistämään rakennuksen energiatehokkuutta kohti lähes nollaenergiarakentamista. Kansalliset vaatimukset tulee ottaa käyttöön kaikissa uudisrakennuksissa vuoden 2020 lopusta alkaen. Direktiivi antaa hyvin vapaat kädet kansallisten vaatimusten asettamiseen. Suomi on lähtenyt kansallisissa vaatimuksissaan edistämään uusiutuvan energian käyttöä.

Opinnäytetyön aiheena oli Suomen kansallisten lähes nollaenergiavaatimusten mukaisen omakotitalon suunnittelu. Tavoitteena oli suunnitella Oulun Vaskikankaalle energiatehokas omakotitalo tilaajan toiveiden ja vaatimusten mukaan. Lisäksi opinnäytetyössä tarkasteltiin erilaisten ratkaisujen vaikutusta energiatehokkuuteen.

Opinnäytetyö aloitettiin tarkastelemalla rakennuksen energiatehokkuusmääräyksiä EU-direktiivin sekä ympäristöministeriön asetusten mukaan. Näiden pohjalta laadittiin lähes nollaenergiarakennuksen suunnitteluun suunnitteluohjeet, joilla pystytään ohjaamaan suunnittelua hankkeen eri vaiheissa ilman tarkempia energiatarkasteluja. Tilaajan kanssa laadittiin kohteelle hankesuunnitelma, jossa määriteltiin tavoitteet ja vaatimukset. Näiden pohjalta laadittiin rakennussuunnitelmat, joiden pohjalta kohde on toteutettavissa lähes nollaenergia- ja hankesuunnitelman vaatimusten mukaan. Rakennuksen rakenne- sekä lämmitysjärjestelmiä vertailtiin Laskentapalvelut Oy:n energialaskentaohjelmalla.

Rakennuksen suunnittelussa onnistuttiin tavoitteiden sekä hankesuunnitelmassa lisättyjen vaatimusten mukaisesti. Kohteeseen tehtiin rakennussuunnitelmat tilaajan tarpeiden mukaan. E-luvuksi saatiin 55 kWh/m²a, joka kuuluu tämän kokoisissa pientaloissa A-luokkaan. Rakentamisen laatu on erittäin tärkeässä roolissa energiatehokkaassa rakentamisessa. Työssä tehtiin kohteelle detaljisuunnitelmia rakentamisen laadun parantamiseksi.

Asiasanat: lähes nollaenergiarakennus, suunnitteluohjeet

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Construction Engineering, Structural Engineering

Author(s): Miika Karhumaa

Title of thesis: Nearly zero energy building at Vaskikangas Oulu

Supervisor(s): Pekka Harju

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018

Pages: 42 + 7 appendices

The subject of the Bachelor's thesis was the design of a house at Vaskikangas Oulu with near zero energy building requirements. The goal was to design an energy efficient house according to the customer's wishes and requirements. In addition, the thesis analyzed the impact of different solutions on energy efficiency. EU Directive 2010/31/EU sets its Member States to develop the construction for nearly zero energy building. All new buildings should be subject to national requirements by the end of 2020. The directive gives very free hands to set national requirements. Finland has complied with national requirements to develop renewable energy use.

The thesis was started by examining the building energy efficiency regulations in accordance with the EU directive and the regulations of the Ministry of the Environment. Based on these, planning guidelines were drawn up for the design of nearly zero energy buildings, which can be used to guide the design at different stages of the project without further energy analyzes. A project plan for the project was set up with the customer and it's setting the objectives and requirements for the project. Based on these, building plans were drawn up for the object, where the object can be implemented according to the requirements of nearly zero energy and project plans. The construction and heating systems of the building were compared with Laskentapalvelut Ltd's Energy Calculation program.

The design of the house was successful in accordance with the objectives and the requirements added in the project plan. Building plans were made according to the customer's needs. The E-figure was 55 kWh/m²a, which belongs to this class of small class A-category. The quality of construction plays a very important role in energy-efficient construction. In the work, detailed plans were made for the object to improve the quality of the construction.

Keywords: nearly zero energy building, planning guidelines

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 RAKENNUKSEN ENERGIA TEHOKKUUDEN VAATIMUKSET	8
2.1 EPBD 2012 (Energy Performance of Buildings Directive)	8
2.2 FInZEB	9
2.3 Energiatodistus	10
2.4 E-luku	10
2.5 Nykyiset vaatimukset (2018)	12
3 LÄHES NOLLAENERGIATALON SUUNNITTELUOHJEET	15
3.1 Arkkitehtisuunnittelun ohjeet	15
3.1.1 Tilankäytön tehokkuus	16
3.1.2 Rakennuksen muoto	17
3.1.3 Ikkunat ja aukot	19
3.2 Rakennesuunnittelun ohjeet	20
3.2.1 Lämmöneristys	21
3.2.2 Kylmäsillat	22
3.2.3 Tiiveys	22
3.2.4 Rakentamisen laatu	24
3.3 LVI-suunnittelun ohjeet	24
3.3.1 Lämmitys	24
3.3.2 Ilmanvaihto	25
3.3.3 Jäähdytys	25
4 PIENTALON HANKESUUNNITELMA	26
4.1 Hankkeen lähtötiedot	26
4.2 Energiatehokkuustavoite	26
4.3 Huonetilat ja tilaohjelma	26
4.4 Talon rakenteet ja järjestelmäratkaisut	28

4.5 Pohjatutkimus	29
4.6 Kustannustavoite	29
5 ENERGIATEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVIEN RATKAISUJEN VERTAILU	31
5.1 Arkkitehtisuunnittelu	31
5.1.1 Tilankäytön tehokkuus	31
5.1.2 Rakennuksen muoto	32
5.1.3 Ikkunat ja aukot	32
5.2 Rakenteelliset ratkaisut	33
5.2.1 Rakennetyypit	33
5.2.2 Kylmäsillat	34
5.2.3 Tiiveys	34
5.3 Talotekninen suunnittelu	35
5.3.1 Lämmitysjärjestelmä	35
5.3.2 Ilmanvaihto	37
5.3.3 Tuloilman viilennys	37
5.3.4 Aurinkoenergia	37
6 YHTEENVETO	39
LÄHTEET	40
LIITTEET	42

1 JOHDANTO

EU:n direktiivissä 2010/31/EU on määrätty jäsenvaltioita edistämään rakennuksen energiatehokkuutta kohti lähes nollaenergiarakentamista. Vuoden 2020 lopusta alkaen kaikkien uusien rakennusten tulee täyttää lähes nollaenergiarakennuksen vaatimukset. Direktiivi antaa jäsenvaltioilleen melko vapaat kädet kansallisten vaatimusten asettamiseen.

Opinnäytetyössä tutustutaan pientalon tiukentuviin energiamääräyksiin EU-direktiivin mukaan sekä suunnitellaan pientalo Oulun Vaskikankaalle tilaajan tarpeiden mukaan. Tilaajan tavoitteena on lähes nollaenergiatalo ympäristöministeriön määritelmien mukaan. Työssä pyritään tehokkaaseen rakennussuunnitteluun siten, että energiatehokkuus ohjaa suunnittelua jo hankkeen luonnossuunnitteluvaiheessa. Pääpiirustukset tehdään AutoCAD-ohjelmalla ja energialaskelmat tehdään laskentapalveluiden laskentaohjelmalla.

Työn tilaajana on 5-henkinen perhe, jolla on tarkoitus aloittaa omakotitalon rakentaminen vuoden 2018 aikana. Perheeseen kuuluu kaksi aikuista sekä kolme alle kouluikäistä lasta. Rakennuksen suunnittelussa otetaan huomioon perheen nykyiset sekä tulevat tarpeet.

2 RAKENNUKSEN ENERGIA TEHOKKUUDEN VAATIMUKSET

2.1 EPBD 2012 (Energy Performance of Buildings Directive)

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2010/31/EU, joka on annettu 19. päivä toukokuuta 2010, määrätään jäsenvaltioita edistämään rakennusten energiatehokkuuden parantamista, ottaen huomioon paikalliset ilmasto-olosuhteet sekä sisäilmastolle asetetut vaatimukset ja kustannustehokkuus. (1, s. 13.)

”Direktiivin vaatimukset koskevat:

- Rakennusten ja rakennukset osien kokonaisenergiatehokkuuden laskentamenetelmän yleistä kehitystä
- Vähimmäisvaatimusten soveltamista uusien rakennusten ja uusien rakennuksen osien energiatehokkuuteen
- Vähimmäisvaatimusten soveltamista energiatehokkuuteen
- Kansallisia suunnitelmia lähes nollaenergiarakennusten lukumäärän kasvattamiseksi
- Rakennusten ja rakennuksen osien energiasertifiointia
- Rakennuksen lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien säännöllisiä tarkastuksia
- Energiatehokkuustodistusten ja tarkastusraporttien riippumattomia valvontajärjestelmiä.”(1, s. 17.)

Direktiivin mukaan lähes nollaenergiarakennuksella tarkoitetaan sellaista rakennusta, jonka energiatehokkuus on erittäin korkea direktiivin laskentaohjeen mukaisesti laskettuna. Lisäksi tarvittava vähäinen energian määrä olisi mahdollisimman laajalti katettava uusiutuvista lähteistä peräisin tulevilla energialla. (1, s. 17.)

Jäsenvaltioiden tulee varmistaa, että 31. päivään joulukuuta 2020 mennessä uudet rakennukset sekä 31. päivään joulukuuta 2018 jälkeen rakennettavat, viranomaiskäyttöön tai omistukseen tulevat rakennukset täyttävät lähes nollaenergiavaatimukset. Jäsenvaltio laatii kansalliset suunnitelmat lähes nollaenergiarakennusten määrän lisäämiseksi. Lisäksi jäsenvaltioiden on kehitettävä toimintatapoja ja toteutettava toimenpiteitä edistääkseen kunnostettavien rakennusten lähes nollaenergiarakennuksiksi muuntamista. (1, s. 21.)

2.2 FInZEB

FInZEB-hanke käynnistettiin määrittelemään kansalliset lähes nollaenergiarakentamisen tavoitteet, käsitteet ja suuntaviivat. Hankkeessa tuotettiin tietoa tulevalle lähes nollaenergiarakentamista käsittelevälle lakisäädösvalmistelulle. (2, s. 8.)

Hankkeessa määritetyt nZEB (Nearly zero energy building - lähes nollaenergiarakennus) E-lukutasot aiheuttavat rakennustypeille eritasoisia muutoksia vuoden 2012 rakentamismääräyskokoelman mukaisiin energiatehokkuusvaatimuksiin. Pientaloissa kustannustehokkaat energiatehokkuuden parannustoimenpiteitä on vähän, eikä aikaisempien määräysten tasosta ole pitkä matka hankkeessa esitettyyn nZEB-tasoon. Ehdotetut nZEB E-luvut asettuvat, asuinkerrostaloa ja sairaalaa lukuun ottamatta, 2012 rakentamismääräysten B-luokkaan. (2, s. 27.)

Taulukossa 1 esitetään FInZEB loppuraportin ehdotettuja E-lukurajoja rakennustyypeittäin. Vertailussa ovat mukana rakentamismääräyskokoelman D3 mukaiset, vuoden 2012 E-lukurajat. Pientaloille ja hirsitaloille ei voida antaa prosenttilukua muutokseksi vuoden 2012 määräyksistä, koska niissä rakennusluokissa E-lukuvaatimus määräytyy rakennuksen koon mukaan. (2, s. 27.)

TAULUKKO 1. Ehdotus nZEB-E-luvuille ($\text{kW/m}^2\text{a}$) (2, s. 26)

	E-lukuraja D3/2012	Ehdotus nZEB-E- luvulle	Muutos nykyisestä
Pientalot *	154...204	120...204	
Hirsitalot **	180...229	140...245	
Asuinkerrostalo	130	116	-11 %
Toimisto	170	90	-47 %
Koulu	170	104	-39 %
Päiväkoti	170	107	-37 %
Liikerakennus	240	143	-40 %
Liikuntahalli	170	115	-32 %
Majoitusliikerakennus	240	182	-24 %
Sairaala	450	418	-7 %

Pientaloissa ja hirsitaloissa E-luvun vaatimusraja vaihtelee koon mukaan, tässä esitetyt kokoluokalle 270...100 m²

2.3 Energiatodistus

Energiatodistus on rakennuksen todistus, joka kertoo rakennuksen energiatehokkuuden. Energiatodistus perustuu EPBD-direktiiviin sekä ympäristöministeriön kansallisiin säädöksiin. Energiatodistus on laskennallinen ja perustuu rakennuksen erilaisiin ominaisuuksiin. Energiatodistus ei ota huomioon käyttäjän kulutustottumuksia vaan kulutus on vakioitu käyttäjämäärän mukaan. Laskennallinen energiatodistus mahdollistaa samantyyppisten rakennusten vertailun keskenään. (3, s. 3.)

Energiatodistus täytyy laatia jokaiselle yli 50 m²:n rakennukselle, jolle haetaan rakennuslupaa. Lisäksi energiatodistusta ei vaadita vapaa-ajanasunnoilta, joita käytetään enintään neljä kuukautta vuodessa tai ei käytetä majoituselinkeinoon harjoittamiseen. (4, s. 1.)

Energiatodistuksessa tulee selvittää seuraavat asiat:

- rakennusosien pinta-alat
- rakennusosien U-arvot
- massiivisuus rakennuksen ominaisuuksien pohjalta
- lämpökuormat
- ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän hyötysuhteet
- uusiutuvan energian osuus.

(4, s. 1.)

2.4 E-luku

E-luku on standardikäytöllä laskettu ja energiamuotokertoimilla painotettu rakennuksen vuosittainen ostoenergian kulutus rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luku ei kuvaa rakennuksen todellista energiankulutusta vaan se toimii rakennuksen energiankäytön tunnuslukuna. Kuvassa 1 on esitetty laskennallisen energiatehokkuuden vertailuvun taseraja.

2.5 Nykyiset vaatimukset (2018)

Maankäyttö- ja rakennuslaissa 115 a § on määritetty lähes nollaenergiarakennus seuraavasti:

”Lähes nollaenergiarakennuksella tarkoitetaan rakennusta, jolla on erittäin korkea energiatehokkuus, sellaisena kuin se on määriteltynä rakennusten energiatehokkuudesta annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2010/31/EU liitteen I mukaisesti. Tarvittava lähes olematon tai erittäin vähäinen energian määrä on laajalti katettava uusiutuvista lähteistä peräisin olevalla energialla, mukaan lukien paikan päällä tai rakennuksen lähellä tuotettava uusiutuvista lähteistä peräisin oleva energia.” (6.)

Energiatehokkuusvaatimukset päivittyivät vuodelle 2018 Ympäristöministeriön asetuksessa 1010/2017. Julkaistussa asetuksessa määräykset päivittyivät seuraavilta osin:

- ”Energiatehokkuus:
 - o Laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun vaatimustasot käyttötarkoitukseluokittain
 - o Rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus
 - o E-luvun laskeminen
 - o Vaatimukset laskentamenetelmälle
 - o Säätidot
 - o Ulkoilmavirrat ja huonelämpötilat
 - o Rakennuksen vakioitu käyttö
 - o Lämpimän käyttöveden vakioitu käyttö
 - o Laskentavyöhykkeet
 - o Erikoistilat ja eräät tekniset järjestelmät
 - o Lämmitysenergian nettotarve
 - o Lämpöhäviön huomioon ottaminen E-luvun laskennassa
 - o Vuotoilmavirran huomioon ottaminen E-luvun laskennassa
 - o Lämmitysjärjestelmän energiankäyttö
 - o Tulisija ja ilmalämpöpumppu
 - o Ilmanvaihtojärjestelmä
 - o Jäähdytysjärjestelmä
 - o Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkönkäyttö.
- Rakennuksen lämpöhäviö:
 - o Rakennuksen lämpöhäviön määrittäminen
 - o Rakennuksen vaipan lämpöhäviö
 - o Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviön laskeminen.” (7, s. 1 - 8.)

Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet pysyivät samalla tasolla 2012 määräysten mukaan. Taulukossa 3 on kuvattu rakenteiden lämmönläpäisykertoimien kehitystä 1969 vuodesta lähtien.

TAULUKKO 3. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet (W/m^2K) (3, s. 10)

Rakennusosa	Rakennusluvun vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-2018-
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17*	0,17*
Maanvarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0
Puolilämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,60	0,45	0,40	0,38	0,26*	0,26*
Maanvarainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,36	0,34	0,24	0,24
Ryömintätilainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30	0,28	0,26	0,26
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Yläpohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Ovi	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,4	1,4
Ikkuna	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	1,8	1,8	1,4	1,4

* Taulukkoarvoja käytettäessä hirsi- ja massiivipuuseinien U-arvona käytetään vuoden 2010 jälkeen lämpimien tilojen osalta 0,4 W/m^2K ja puolilämpimien tilojen osalta 0,6 W/m^2K .

Taulukossa 4 on kuvattu käyttötarkoitukseluokan mukaiset E-luvun raja-arvot vuoden 2018 asetuksen mukaan. Vuoden 2012 E-luvun raja-arvovaatimus oli huomattavasti nykyistä korkeampi. E-luvun laskentatapa on muuttunut siten, että luvut eivät ole vertailukelpoisia keskenään.

TAULUKKO 4. Laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluku 2018 (E-luku) (7, s. 3)

Käyttötarkoitusluokka	E-luvun raja-arvo $\text{kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$
<p>Luokka 1) Pienet asuinrakennukset:</p> <p>a) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A_{netto}) on 50–150 m^2</p> <p>b) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A_{netto}) on enemmän kuin 150 m^2 kuitenkin enintään 600 m^2</p> <p>c) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A_{netto}) on enemmän kuin 600 m^2</p> <p>d) Rivitalo ja asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia enintään kahdessa kerroksessa</p>	<p>200–0,6 A_{netto}</p> <p>116–0,04 A_{netto}</p> <p>92</p> <p>105</p>
Luokka 2) Asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa	90
Luokka 3) Toimistorakennus, terveyskeskus	100
Luokka 4) Liikerakennus, tavaratalo, kauppakeskus, myymälärakennus lukuun ottamatta päivittäistavarakaupan alle 2000 m^2 yksikköä, myymälähalli, teatteri, ooppera-, konsertti- ja kongressitalo, elokuvateatteri, kirjasto, arkisto, museo, taidegalleria, näyttelyhalli	135
Luokka 5) Majoitusliikerakennus, hotelli, asuntola, palvelutalo, vanhainkoti, hoitolaitos	160
Luokka 6) Opetusrakennus ja päiväkot	100

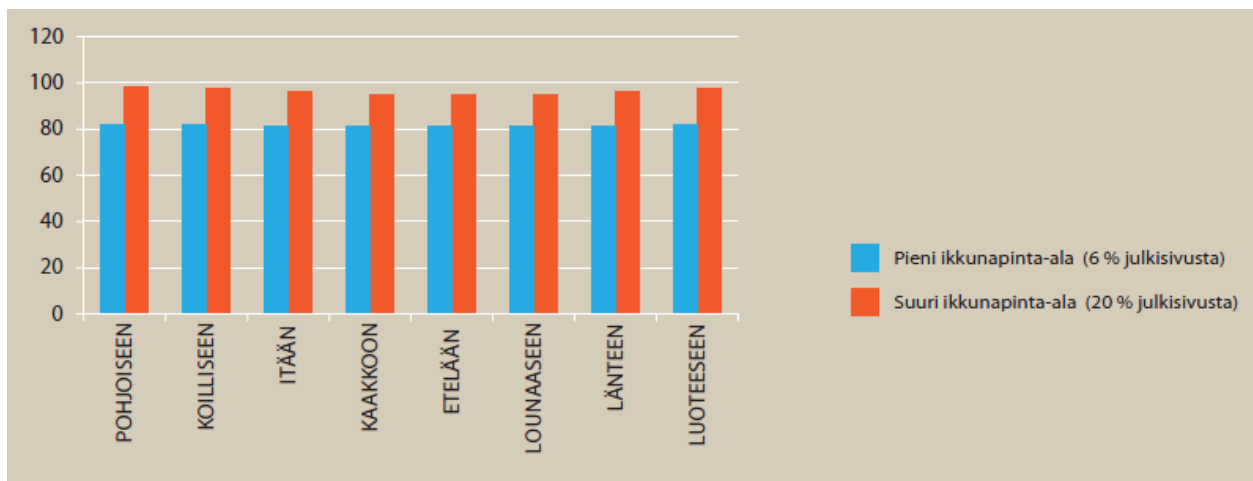
3 LÄHES NOLLAENERGIATALON SUUNNITTELUOHJEET

3.1 Arkkitehtisuunnittelun ohjeet

Arkkitehtisuunnittelussa voidaan vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen monella eri tavalla. Siinä päätetään rakennuksen mitat, muoto ja asema tontilla. Näillä valinnoilla voidaan vaikuttaa erityisesti lämmitysenergiantarpeeseen. Tilojen lämmitysenergiantarpeeseen ei sisällytetä taloteknisten ratkaisujen hyötysuhdetta tai lämmitysmuodon vaikutusta, vaikka nämä vaikuttavat merkittävästi tilojen lämmitykseen tarvittavaan os-
toenergiaan. (8, s. 22.)

Suunnitteluratkaisujen vaikutusta, jotka parantavat rakennuksen energiatehokkuutta, mitataan yleensä prosenttilukuina. Arkkitehtisuunnittelussa suurimmat vaikutukset rakennuksen energiatehokkuuteen muodostuvat tilankäytön tehokkuudesta, rakennuksen muodosta ja asemasta sekä rakennuksen ikkunoista ja aukoista. Arkkitehtisuunnittelun tilojen lämmitystarpeeseen vaikuttavat ratkaisut tehdään suunnittelun alkuvaiheessa. Mitä aikaisimmassa vaiheessa rakennuksesta tehdään alustavia energialaskelmia, riski suunnitelmien muutoksille on huomattavasti pienempi ja energiatehokkuus tavoitteet saavutetaan. Rakennuslupavaiheen energialaskenta on liian myöhään ohjatakseen suunnittelua energiatehokkaasti. (8, s. 22.)

Kuvassa 2 on esitetty talon suuntauksen vaikutusta rakennuksen lämmitystarpeeseen, kun ikkunapinta-alasta on 35 % pääjulkisivun suuntaan. Pääjulkisivun muuttaminen etelästä pohjoiseen kasvattaa rakennuksen lämmitystarvetta noin 1-6 % riippuen ikkunapinta-alasta. (8, s. 24.)



KUVA 2. Pientalon suuntauksen vaikutus tilojen lämmitystarpeeseen Oulun ilmastossa (8, s. 24)

Luonnosvaiheen suunnittelussa tulee ratkaisut muodostaa siten, että vältetään rakennuksen monimuotoisuus tai suuret ikkunapinta-alat. Tehokkaan ratkaisun mahdollistamiseksi arkkitehtisuunnittelussa tulee huomioida jo alusta alkaen rakennukseen mahdollisesti asennettavat aurinkopaneelit. Aurinkopaneelien sijoitussuunta ja –kaltevuus vaikuttavat merkittävästi aurinkopaneelien tehokkuuteen. Aurinkopaneelien kaltevuus tulee valita maantieteellisen sijainnin mukaan. (9, s. 16.)

3.1.1 Tilankäytön tehokkuus

Tehokkaalla pohjaratkaisulla voidaan vähentää tarpeettomasti lämmitettävää tilavuutta. Suunnittelun alkuvaiheessa tulee arvioida, onko tilaohjelmassa sellaisia tiloja, jotka voidaan sijoittaa lämmitettävän vaipan ulkopuolelle. Varastotilojen lämmitys lähes nolla-energiataloissa on monesti kannattamatonta. Lähes nollaenergiarakennuksissa kannattaa minimoida mahdolliset lämpöhäviöt siten, että sijoittaa mahdolliset lämmön lähteet rakennuksen keskeisille paikoille sekä välttää talotekniikan kuljetusta ullakko tilassa. (9, s. 18.)

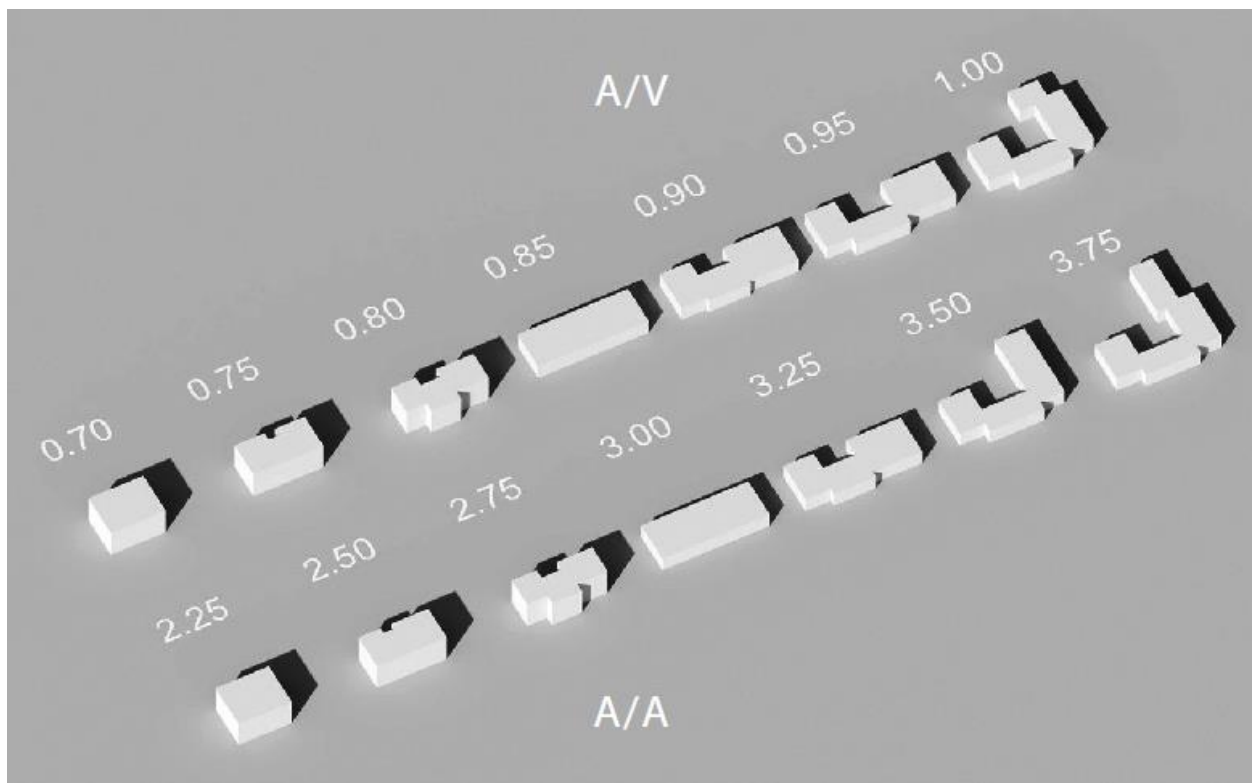
Tilankäytön tehokkuutta ei usein tarkastella energiatehokkuutta arvioivissa laskelmissa, koska energiatehokkuutta arvioidaan lattianeliömetriä kohtaan laskettavana energianku-

lutuksena. Ylimääräisen tilan rakentaminen lisää kuitenkin investointi ja ylläpitokustannuksia. (8, s. 28.)

3.1.2 Rakennuksen muoto

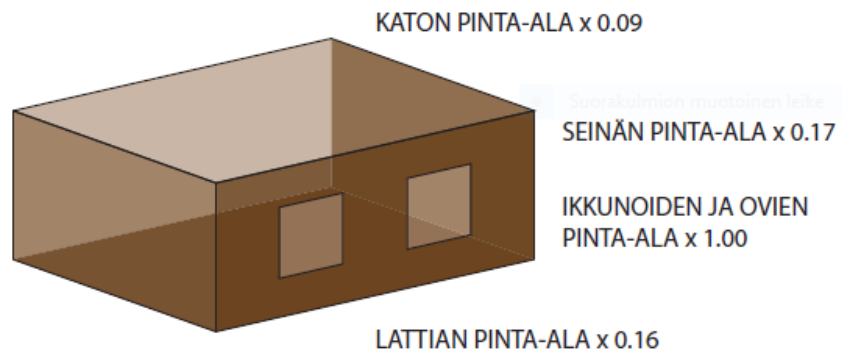
Rakennuksen muoto on merkittävin yksittäinen energiantarpeeseen vaikuttava tekijä. Rakennuksen muodon yksinkertaistaminen ei saa johtaa huonoihin tilaratkaisuihin tai sisätilojen luonnonvalon puutteeseen. Yksinkertaiset ratkaisut vähentävät myös työvirheen riskiä rakennusvaiheessa ja edistävät rakentamisen laatua. Erilaisilla suunnitteluratkaisuilla voidaan kompensoida monimuotoisen rakennuksen aiheuttamaa lämpöhäviöitä. (9, s. 17.)

Rakennuksen kompaktiutta kuvataan ns. muotokertoimella A/V tai A/A . Kuvassa 3 on laskettu erimuotoisille rakennuksille muotokertoimia A/V ja A/A mukaan. Muotokerroin A/V lasketaan ulkovaipan pinta-alan ja lämmitettävän tilavuuden suhdelukuna. Muotokerroin A/A lasketaan ulkovaipan pinta-alan ja lattiapinta-alan suhdelukuna. A/V muotokerroin ei huomioi sitä, kuinka paljon lattiapintaa on saatu kyseisellä ratkaisulla. A/A muotokerroin kuvastaa mm. kaksikerroksisen ratkaisun tehokkuutta suhteessa yksikerroksiseen. Vaipan pinta-ala on yleensä huomattavasti pienempi, kun sama tilaavuus rakennetaan kahteen kerrokseen. Lisäksi muotokertoimeen vaikuttaa oleellisesti rakennuksen koko. Pienen rakennuksen muotokerroin on huomattavasti suuren rakennuksen muotokerrointa suurempi, joten muotokertoimelle ei voida asettaa tavoitearvoa, joka olisi validi jokaisessa kohteessa. (8, s. 29.)



KUVA 3. Lämmitettävän ulkovaipan muoto ja muotokertoimet A/V ja A/A (8, s. 30)

Painotetulla muotokertoimella voidaan vaihtoehtoisia ratkaisuja vertailla edellä kuvattuja muotokertoimia luotettavammin. Painotetussa muotokertoimessa otetaan huomioon vaipan eri rakennetyyppien lämmönläpäisykertoimet. Painotettu muotokerroin määritetään laskemalla vaipan rakennusosien lämmönläpäisykertoimella kerrotut pinta-alat ja jakamalla se tilaohjelma-alalla. Ohjelma-alan muuttuessa tunnusluku ei ole vertailukelpoinen. Painotetulla muotokertoimella voidaan tarkastella erilaisten ratkaisumallien vaikutusta tilojen lämmitystarpeeseen. (8, s. 31.)



KUVA 4. Painotettu muotokerroin (8, s. 31)

3.1.3 Ikkunat ja aukot

Energiatehokkuudelle on edullista, että seinän ikkunapinta-ala on kohtuullinen. Tavallisesti ikkunapinta-alaksi sopii 15–20 % kerrosalasta. Hieman suuremmallakin ikkunapinta-alalla voidaan saavuttaa lähes nollaenergiatalon energiatehokkuusvaatimukset. Näissä tilanteissa ikkunoiden U-arvolle saattaa aiheutua erityisvaatimuksia, koska ikkunat laskevat merkittävästi vaipan U-arvoa. Korkeita ikkunoita tulisi välttää, koska korkeista ikkunoista voi aiheutua vedontunnetta, vaikka ikkunat olisivat hyvää energiatasoa. Lisäksi liian matalalta tai jopa lattiapinnasta lähtevät ikkunat voivat vaikuttaa termiseen viihtyvyyteen tai aiheuttaa haasteita rakennuksen ilmatiiveyteen. (9, s. 18.)

Suomessa ikkunoiden ilmansuunnalla ei ole niin suurta merkitystä kuin esimerkiksi Keski-Euroopan ilmastossa. Lähes nollaenergiataloissa lämmityskausi on pääosin Suomen pimeimpinä kuukausina, jolloin aurinko ei pääse lämmittämään sisätilaa. Suomessa ikkunoiden eteläsuuntauksella voidaan aiheuttaa merkittävä jäähdtyksen tarve kesällä. Yliämpenemistä voidaan ehkäistä ikkunoiden varjostuksella esimerkiksi luukuin, kaihtimin, lasin ominaisuuksin tai kiinteillä rakenteilla, kuten katoksilla. Lasin ulkopuolelle jäävät varjostavat rakenteet toimivat tehokkaammin kuin sisäpuolelle jäävät ratkaisut. (9, s. 19.)

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää passiivisesti oikein suunnattujen ikkunoiden avulla. Passiivien aurinkoenergia tarkoittaa auringon lämpösäteilyn hyödyntämistä energiankulutuksen pienentämiseen ilman teknisiä järjestelmiä. Itään ja länteen suunnattujen ikku-

noiden avulla passiivisen aurinkoenergian hyödyntäminen on erittäin vaikeaa, koska auringonsäteily tulee ikkunaan matalalta ja auringonsäteilyä ei voida kontrolloida mitenkään. Passiivisen aurinkoenergian hyödyntämiseksi rakennuspaikan tulee olla sellainen, jossa suuri osa rakennuksen ikkunoista voidaan suunnata etelään ilman naapurirakennusten tai puuston varjostusta. (8, s. 38.)

Ikkunan g-arvo, eli auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin kertoo, kuinka hyvin ikkuna hyödyntää auringonvaloa ja -lämpöä. Suurempi g-arvo tarkoittaa, parempaa aurinkoenergian hyödyntämistä. (Taulukko 5.) (10.)

TAULUKKO 5. Ikkunoiden g-arvon vaikutus (8, s. 38)

eniten aukotetun julkisivun suuntaus	g = 0.35 tavanomainen ikkuna	g = 0.50 markkinoiden parhaiten soveltuvat "aurinkoarkkitehtuurilla" saavutettava vähennys tilojen lämmitystarpeessa	g = 0.65 tulevaisuuden ikkunaratkaisut "aurinkoarkkitehtuurilla" saavutettava vähennys tilojen lämmitystarpeessa
	energiatohokkuustaso		
KAAKKOON	normitaso	4 - 14 %	8 - 19 %
	passiivitaso	5 - 19 %	10 - 25 %
ETELÄÄN	normitaso	5 - 17 %	9 - 22 %
	passiivitaso	7 - 24 %	12 - 31 %
LOUNAASEEN	normitaso	4 - 15 %	8 - 20 %
	passiivitaso	5 - 20 %	10 - 26 %

Taulukossa 5 kuvataan ikkunoiden ja tilojen suuntaamisella sekä lasiosien g-arvon lisäyksellä saavutettavissa olevan säästön tilojen lämmitystarpeessa esimerkkirakennuksessa (kaksikerroksisessa omakotitalossa) Oulun ilmastossa. Yliämpeneminen on esitetty varjostavalla julkisivurakenteella. (8, s. 38.)

3.2 Rakennesuunnittelun ohjeet

Energiatohakas rakennus on monesti toteutettavissa tavanomaisilla rakenneratkaisuilla. Jos suunnittelussa päädytään sellaiseen rakenneratkaisuun, josta ei ole riittävästi kokemusta ja tutkimustietoa, tulee kohteeseen tehdä asiantuntijaselvitys rakenteen kosteusteknisestä toimivuudesta. Pääsääntöisesti yksinkertaiset rakenteet helpottavat kohteen toteutettavuutta. (9, s. 21.)

3.2.1 Lämmöneristys

Nykyiset energiantehokkuustavoitteet johtavat paksuihin lämmöneristekerroksiin. Eristepaksuutta lisäämällä tulee kuitenkin huomata, että lämmöneristävyys ei kasva lineaarisesti lämmöneristeen paksuuden kanssa. Rakenneperiaatteesta ja materiaaleista riippuen ulkoseinän rakennepaksuus voi olla 300-600 mm. Yläpohjan eristepaksuus voi olla 700 mm ja tuulettuvan alapohjan eristepaksuus 500 mm. Maanvaraisen alapohjan eristepaksuus voi olla 200-300 mm. Maanvaraisen alapohjan eristepaksuuden kasvaessa tulee routasuojaus toteuttaa kohteen vaatimalla tavalla. Hyvin eristetyssä alapohjassa lämpöhäviöt voivat olla niin pienet, että maa pääsee jäätymään perustusten alla. Routaeristyksen kannalta nurkat ovat erityisen haastavia kohtia rakennuksessa. Taulukossa 6 on esitetty lähtökohtaiset U-arvot lähes nollaenergiarakentamisessa. Rakennesuunnittelu tulee tehdä riittävällä huolella, jotta kohteeseen saadaan suunniteltua kestävät ratkaisut. (9, s. 21.)

TAULUKKO 6. Rakenteiden lähtökohtaiset suunnitteluarvot lähes nollaenergiarakentamisessa (9, s. 22)

	U-arvo [W/m ² K]
Ulkoseinä	0,08 - 0,14
Alapohja	0,1 - 0,15
Yläpohja	0,06 - 0,09
Ikkuna	0,7 - 0,9
Kiinteä ikkuna	0,6 - 0,8
Ulko-ovi	0,6 - 0,8

Suomessa rakennusten energiatehokkuuden määräysohjaus on perustunut jo vuosikymmenten ajan rakenteiden U-arvoille asetettaviin enimmäisarvoihin. Nämä ovat edistäneet sitä, että Suomessa on saatu uudisrakennusten energiankulutus sekä kasvihuonepäästöt laskuun. Pohjoisen kylmässä ilmastossa energiatehokkaan rakentamisen perustana on tilojen lämmitystarpeen minimointi, vaikka erilaiset vaihtoehdot energiatehokkaaseen rakentamiseen on lisääntynyt. (8, s. 49.)

Suurin osa nykyisin rakennettavista rakennusten ulkovaipoista toteutetaan monikerrosrakenteilla. Tällaisessa rakenteessa rakenteen ulkopuolisen osan tulee estää tuulen ja

sadeveden pääsyn rakenteeseen. Lämmöneristeen ulkopintaan asennetaan tuulen-suoja, joka estää haitallisia ilmanvirtauksia. Ulkoverhouksen taakse on tehtävä tuuletus-rako, jolloin verhouksen taakse joutunut kosteus pääsee kuivumaan. (8, s. 49.)

3.2.2 Kylmäsillat

Tehokkaasti eristetyssä rakennusvaipassa korostuu kylmäsiltojen haitallinen merkitys. Lähes nollaenergiatalon suunnitteluaineistossa kylmäsillat jaetaan kolmeen eri luokkaan, rakenteellisiin ja geometrisiin kylmäsiltoihin sekä niiden yhdistelmiin. Rakenteelliset kylmäsillat ovat rakenteessa kohtia, jossa lämmöneristävyys on rakenteen muuta kohtaa huomattavasti pienempi, kuten esimerkiksi ulkoseinän runkotoikka. U-arvojen laskennassa huomioidaan rakenteiden kylmäsillat. (9, s.22.) Geometrisiä kylmäsiltoja ei voida välttää, sillä geometrinen kylmäsilta muodostuu kohtaan, jossa rakennuksen geometria muuttuu, kuten seinän ulkonurkka. Geometrinen kylmäsilta johtuu siitä, että rakenteen ulko- ja sisäpinnan pinta-alat ovat erikokoiset. (8, s. 58.)

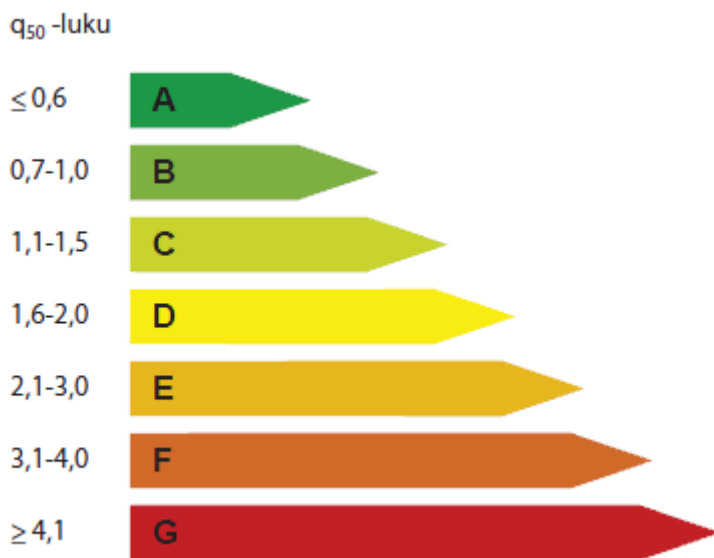
Lähes nollaenergiarakennuksissa kylmäsillat voivat olla merkittävä lämpöhäviöitä aiheuttava tekijä. Järkevillä suunnitteluratkaisulla voidaan monesti säästää energiaa pienellä investoinnilla. Kylmäsillat vaikuttavat asuinmukavuuteen siten, että kylmät kohdat vaipan sisäpinnassa aiheuttavat vedon tunnetta. (8, s. 60.)

Rakenteen pintalämpötilan ollessa riittävän alhainen kondensoituu sen pintaan lämpimän sisäilman kosteus. Homeen kasvun mahdollistaa pitkäaikainen yli 80 prosentin suhteellinen kosteus rakenteen pinnassa sekä riittävä lämpötila. Uusissa rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto, sisäpinnan lämpötila ei ole ongelma ilman rakennusvirhettä ja siitä johtuvia ongelmia. Vanhemmissa rakennuksissa, joissa ilmanvaihto on toteutettu painovoimaisena, ilmanvaihtuvuus voi olla riittämätöntä etenkin talvella, jolloin ongelma voi olla suurempi, jos sisäilma on kostea esimerkiksi suuren henkilökunnan takia, kuten jouluisin. (8, s. 60.)

3.2.3 Tiiveys

Rakennuksen ilmatiiveys on erittäin tärkeää lähes nollaenergiataloissa. Vaipan ilma-
vuodot lisäävät rakennuksen lämpöhäviöitä merkittävästi. Lämmitystarpeeseen ilma-

vuodot vaikuttavat jopa 15 - 30 % pientalossa, jonka ilmavuotoluku q_{50} on $4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$. Tyypillisiä ilmavuotokohtia rakennuksen vaipassa ovat elementtisaumat, ikkunoiden ja ovien liitokset, rakennusosien liitokset sekä läpiviennit. Rakennuksen tiiveys perustuu riittävään ilmansulkuun. Energiatehokkaassa rakentamisessa tiiveyden tavoitteena tulisi olla alle $0,6 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$. Pitkäaikaisen toimivuuden varmistamiseksi tiiveystavoite voidaan asettaa jopa paremmaksi. Hyvä tiiveys on mahdollista huolellisella suunnittelulla sekä toteutuksella. (8, s. 73.)



KUVA 5. Tiiveysmittausluokitus (8, s. 75)

Ilmatiiveyden suunnittelussa avainasemassa ovat yksinkertaiset ja hyvin suunnitellut rakenteet, ja suunnittelussa ja toteutuksessa onkin kiinnitettävä erityistä huomiota alapohjan ja seinärakenteen liitokseen, välipohjan ja seinärakenteen liitokseen sekä ovi- ja ikkunadetaljeihin. Ilmansulkukerroksen lävistäviä asennuksia tulee välttää suunnittelussa. Jokainen ilmansulkukerroksen lävistävä läpivienti kasvattaa ilmavuotojen riskiä. Käytettäessä ilmansulkuna muovikalvo tai rakennuspaperia paras ilmansulkukerroksen saumojen tiiveys saavutetaan, kun liimauksen ja teippauksen lisäksi saumassa on mekaaninen puristusliitos. Ilmansulun läpiviennit tulee suunnitella huolellisesti ja niissä on käytettävä läpivienteihin suunniteltuja läpivientimansetteja. (9, s. 22.)

3.2.4 Rakentamisen laatu

Energiatehokkaaseen rakentamiseen liittyvät monenlaiset riskit. Ulkovaipan kosteusvaurioiden suurin aiheuttaja on sadeveden joutuminen rakenteisiin. Kosteusvauriot, jotka ovat johtuneet asuinhuoneen sisäilmankosteudesta, ovat harvinaisia. Kosteusvauriot ovat usein monen eri tekijän summa, joten lämmöneristeen paksuus ei pelkästään aiheuta kosteusriskin kasvua. (9, s. 23.)

Huolimattomuus ja vääränlaiset asenteet yhdessä huonojen työtapojen tai väärän työjärjestyksen kanssa aiheuttavat paljon kosteusvaurioihin johtavia rakennusvirheitä. Pääsuunnittelija sekä työmaan vastaava työnjohtaja voivat omilla toimillaan vaikuttaa merkittävästi rakentamisen laatuun. Pääsuunnittelija vastaa suunnitelmien yhteensovitteluksesta ja laadusta. Vastaava työnjohtaja vastaa työmaalla, että rakennus on toteutettu suunnitelmien mukaan oikeilla työtapoilla. Monet uudisrakennusten kosteusongelmista voitaisiin välttää, jos pidetään huoli näistä perusasioista, suunnittelun ja toteutuksen laadusta. (9, s. 23.)

3.3 LVI-suunnittelun ohjeet

Talotekniikka on oleellisessa osassa rakennusten energiatehokkuutta. Rakennuksen lämmitys, ilmanvaihto ja jäähdytys muodostavat rakennuksen energiankulutuksesta suuren osan. Lähes nollaenergiarakennuksissa rakennusten energian tuotantoon tulee kiinnittää huomiota. Lisäksi omalla energiatuotannolla on mahdollista kattaa rakennusten lämmitystä ja jäähdytystä. (9, s. 24.)

3.3.1 Lämmitys

Lähes nollaenergiarakennuksen lämpöhäviöt ovat yleensä hyvin pienet, jolloin tämä avaa lisää vaihtoehtoja rakennuksen lämmitysvaihtoehtoiksi. Lämmönjako voidaan esimerkiksi toteuttaa ilmanvaihtolämmityksellä, eikä talossa tarvita perinteisiä lämmönjakojärjestelmiä. Ilmanvaihtolämmityksessä tulee huomioida terminen viihtyvyyden hallinta. Suunnittelun tavoite on teknisesti toimiva sekä viihtyisä ja vedoton sisäilmasto. Monet perinteiset lämmitystavat voivat olla myös hyviä vaihtoehtoja lähes nollaener-

giarakennuksiin. Hieman suuremmilla investointikustannuksilla voidaan päästä lähelle nollaenergiarakennusta esimerkiksi maalämmön ja aurinkopaneelien avulla. (9, s. 24.)

3.3.2 Ilmanvaihto

Tiivis rakennus tarvitsee hyvän ja oikein mitoitetun ilmanvaihtojärjestelmän. Ilmanvaihdon tehokas mitoitus estää tarpeettomia ilmanvaihtomääriä. Rakentamismääräyskoelman ilmanvaihdon suunnitteluperusteissa määritetään rakennuksen ilmanvaihdon minimitaso. Nykyisissä ilmanvaihtokoneissa on tehokkaat lämmöntalteenottolaitteet, joiden vuosihyötysuhde on useimmiten yli 70 %. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla saadaan huomattavia säästöjä rakennuksen lämmityksessä. Esilämmityksellä voidaan saada pidettyä koneen vuosihyötysuhde korkeana ja vältetään jäätymisongelmat. (9, s. 24-25.)

3.3.3 Jäähdytys

Energiatehokkaan rakennuksen tavoitteena on mahdollisimman pieni jäähdytyksen tarve kesällä. Kesäaikaan aurinkokuorma voi lämmittää rakennusta ja aiheuttaa yllämenemistä, jolloin rakennusta joudutaan jäähdyttämään. Koneellinen jäähdytys kuluttaa energiaa melko paljon ja yllämenemistä tulee estää mahdollisuuksien mukaan. Yllämenemistä voidaan estää arkkitehtisuunnitteluohjeiden, ikkunat ja aukot kohdan ohjeiden mukaan. Lisäksi rakennuksen jäähdytys voidaan toteuttaa esimerkiksi yöjäähdytyksenä ilmanvaihdon kautta tai päiväaikaan ilmanvaihdon tehostamisella. Ilmanvaihdon korvausilma tulee ottaa mahdollisuuksien mukaan talon pohjoispuolelta, jolloin tuloilma on mahdollisimman viileää kesäisin. (9, s. 26.)

4 PIENTALON HANKESUUNNITELMA

4.1 Hankkeen lähtötiedot

Hankkeeseen ryhtyvä on 5-henkinen perhe, joka asuu paritalossa vuokralla. Nykyinen asunto on käymässä pieneksi lasten kasvaessa, joten uuden kodin rakennuttaminen on tullut ajankohtaiseksi. Hankkeeseen ryhtyvä on saanut vuokratontin Oulun kaupungin tonttijaosta syksyllä 2017. Vaskikankaan toisen osan infra rakennetaan kevään 2018 aikana, joten tontille pääsee aikaisintaan vasta kesällä 2018. Hanke on tarkoitus toteuttaa 2018 - 2019 aikana.

Tontti sijaitsee Oulun Vaskikankaalla asemakaava-alueella, joka asettaa rakennukselle vaatimuksia. Liitteessä 1 on esitetty alueen asemakaava. Tontti on hiekkakankaalla tasamaatontti ja sen perustamisolosuhteet ovat helpot. Tontille ei ole tarkoitus jättää mitään nykyisestä, joten tontti raivataan kokonaan.

4.2 Energiatehokkuustavoite

Rakennuksen energiatehokkuus on ollut esillä julkisuudessa usean vuoden ajan. Hankkeeseen ryhtyville rakennuksen käyttökustannukset ja energiatehokkuus on tärkeässä asemassa. Hankkeelle asetettiin energiatehokkuus tavoitteeksi lähes nollaenergiatalon energiatehokkuus, mutta kun kansallinen ohje määrittää lähes nollaenergiatalon vaatimukset niin vaatimattomiksi, päätettiin hankkeessa tavoitella hieman parempaa energiatehokkuutta. E-luku tavoite hankkeelle asetettiin 55 (kWh/m²a). Lähes nollaenergiarakennuksen A-luokan vaatimukset täytyisivät kansallisen ohjeen mukaan E-luvulla 84 (kWh/m²a).

4.3 Huonetilat ja tilaohjelma

Luonnossuunnittelussa tehtiin tilaohjelma hankkeeseen ryhtyvän tarpeiden mukaan ja sen pohjalta laadittiin suuntaa antava kustannustavoite. Tilaohjelmaan haluttiin tilava keittiö sekä kodinhoituhuone. Lisäksi erityistä huomiota haluttiin kiinnittää lastenrattaiden sijoitukselle sekä lasten ulkovaatteiden säilytykselle. Olohuone ja keittiö haluttiin tilavaksi yhtenäiseksi tilaksi. Lasten leikkihuoneen tulisi olla lähellä keittiötä ja olohuo-

netta, jotta pienimmät lapset voisivat leikkiä sisällä vanhempien näköpiirissä. Tilaajan tarpeista tehtiin tilaohjelma, joka on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Tilaohjelma hankesuunnitelmassa

Tilaohjelma	hym²	Lisätietoja
Keittiö	10 - 12 m ²	
Olohuone	30 - 40 m ²	
Makuuhuone 1	12 - 15 m ²	Vanhemmat
Makuuhuone 2	10 - 11 m ²	
Makuuhuone 3	10 - 11 m ²	
Työhuone	7-8 m ²	
Eteinen	5-8 m ²	
Kodinhuoltohuone	10 - 14 m ²	
Pesuhuone	3 - 5 m ²	
Sauna	3 m ²	
Wc	2 - 3 m ²	
Tekninen tila	2 - 3 m ²	
yht.	110 - 130 m ²	

Kohteesta haluttiin 5h+k, joten huoneistoala tulisi pysyä alle 130 m², jotta tilat olisivat riittävän tehokkaat. Tilojen suunnittelussa ei saa liikaa korostaa tilojen tehokkuutta, vaan tilat tulee mitoittaa ja sijoitella käytännöllisyyden sekä muunneltavuuden ehdoilla. Kuvassa 6 on Oulun rakennusvalvonnan ohje tehokkaaseen rakentamiseen huoneistoalan suhteella huonelukuun. (11, s. 8.)

HUONEISTOALAN SUHDE HUONELUKUUN

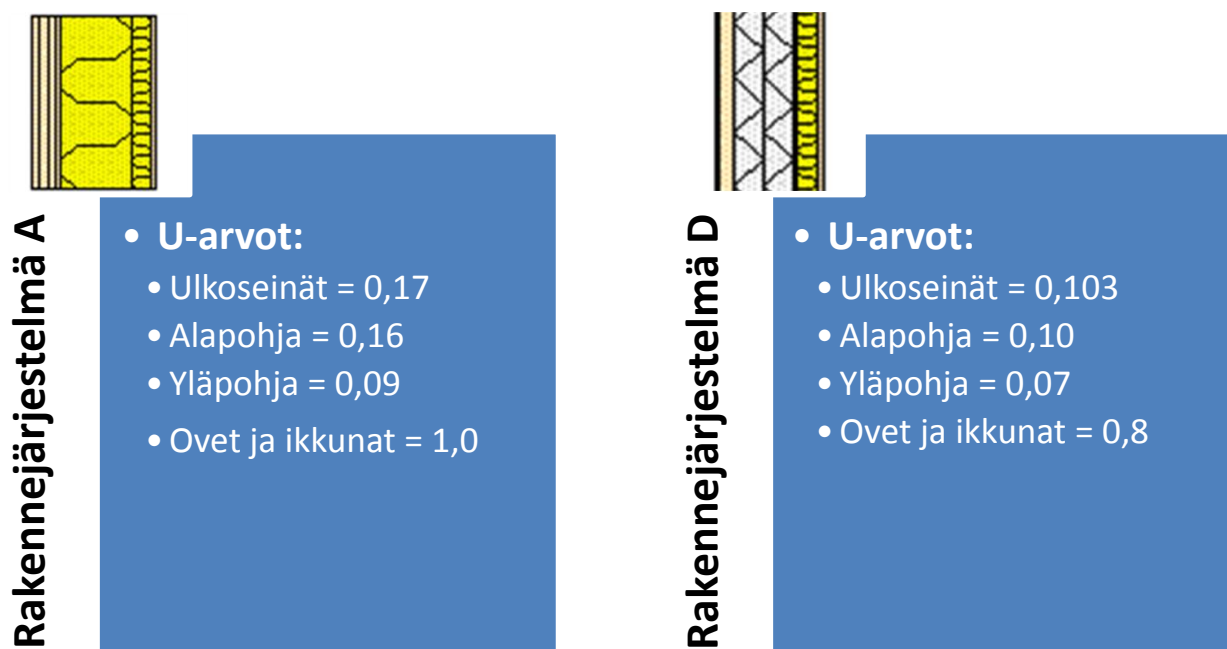
HUONEISTOTYYPPI	HUONEISTOALA		
	TEHOKAS	NORMAALI	HEIKKO*
Yksikerroksiset asunnot			
3 h + k	< 80 m ²	80...90 m ²	> 90 m ²
4 h + k	< 110 m ²	110...120 m ²	> 120 m ²
5 h + k	< 130 m ²	130...140 m ²	> 140 m ²
6 h + k	< 155 m ²	155...165 m ²	> 165 m ²
Kaksikerroksiset asunnot			
4 h + k	< 115 m ²	115...125 m ²	> 125 m ²
5 h + k	< 135 m ²	135...145 m ²	> 145 m ²
6 h + k	< 160 m ²	160...170 m ²	> 170 m ²

* tavanomaisen kokoiset huoneet

KUVA 6. Huoneistoalan suhde huoneistotyyppiin (11, s. 8)

4.4 Talon rakenteet ja järjestelmäratkaisut

Energiatehokkuustavoite asettaa talon rakenteille ja järjestelmäratkaisuille tiettyjä vaatimuksia. Vaipan lämpöhäviöiden minimoimiseksi talon rakenteet tehdään hieman tavanomaista paremmilla rakenneratkaisuilla. Kuvassa 7 on esitetty rakenneratkaisujen u-arvot. U-arvolaskelmat löytyvät liitteestä 2.



KUVA 7. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet eri rakennejärjestelmävaihtoehdoissa

Rakennuksen lämmitysratkaisulla voidaan vaikuttaa paljon rakennuksen energiatehokkuuteen. Esimerkiksi märkätilojen mukavuuslämpönä käytetty sähkökäyttöinen lattialämmitys vie usein todella paljon energiaa.

4.5 Pohjatutkimus

Tontille on tehty pohjatutkimus 18.10.2017. Pohjatutkimus on tehty paino- ja näytteenotokairauksena kahdessa pisteessä suunnitellulla rakennusalueella. Perustaminen esitetään perustettavaksi perusmuurianturoilla matalaan ja lattioiden tekemistä maanvaraisina tai tuuletettuina. Perustusten korkeudeksi esitetään 0,9 metriä. Pohjamaan laskennallisena geoteknisenä kantavuutena voidaan käyttää 120 kPa ja perustuksen minimileveydeksi esitetään 0,3 metriä. Pohjatutkimus sekä pintavaaituskartta on esitetty liitteessä 3.

4.6 Kustannustavoite

Kustannustavoite on tehty tilaohjelman pohjalta ja perustuu viimeisimpään Haahtelan Rakennuksen hinnan arviointi -ohjeeseen. Kustannustavoitteessa on pyritty huomioi-

maan energiatehokkuusvaatimuksen aiheuttamat kustannusvaikutukset. Tavoitteena on pitää energiatehokkuudesta aiheutuvat kustannukset alle 10 %:ssa hankkeen kokonaiskustannuksista. Taulukossa 8 on esitetty tilaohjelmaan pohjautuva kustannusarvio.

Kustannustavoitteeksi saatiin 255 000 €.

TAULUKKO 8. kustannustavoite tilaohjelman pohjalta

	hm2	(€/hm2)*	hinta
Keittiö	13	1 545	20 085,00 €
Olohuone	37	1 330	49 210,00 €
Makuuhuone	13	1 275	16 575,00 €
Makuuhuone	11	1 275	14 025,00 €
Makuuhuone	11	1 275	14 025,00 €
Työhuone	8	1 275	10 200,00 €
Eteinen	7	1 635	11 445,00 €
Kodinhuoltohuone	11	1 635	17 985,00 €
Pesuhuone	4	2 485	9 940,00 €
Sauna	3	2 350	7 050,00 €
Wc	3	2 640	7 920,00 €
Tekninen tila	3	1 330	3 990,00 €
Yhteensä	124		182 450,00 € alv 0 %
			226 238,00 € alv 24 %
Hanketekijät: (lisäkertoimet)			
Rakennuksen vaippa		8 %	
Ilmanvaihto		5 %	
Loppusumma		113 %	255 648,94 € alv 24 %

* alueellinen hintataso Oulussa

5 ENERGIATEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVIEN RATKAISUJEN VERTAILU

Luvuissa 5.1-5.3 esitellään perustelut suunnitelmien arkkitehtuurisiin sekä rakenne- ja talotekniikkaan liittyviin ratkaisuihin.

5.1 Arkkitehtisuunnittelu

Arkkitehtisuunnittelussa tarkastellaan tilankäytön tehokkuutta, rakennuksen muotoa sekä ikkunoiden ja aukkojen suhdetta rakennuksen vaippaan. Rakennuksen arkkitehtisuunnitelmat on esitetty liitteessä 4.

5.1.1 Tilankäytön tehokkuus

Rakennuksen tilat suunniteltiin yhdessä tilaajan kanssa. Aluksi luotiin luonnosvaihtoehtoja tilaohjelman (taulukko 9) pohjalta. Pohjaratkaisussa kiinnitettiin erityistä huomiota kulkualueisiin ja pyrittiin välttämään tehottomia alueita. Olohuoneeseen, keittiöön sekä kodinhoitohuoneeseen haluttiin kuitenkin tilavuutta, koska näissä tiloissa vietetään iso osa ajasta. Olohuoneen ikkunat haluttiin suunnata etelään ja länteen, joten tämä ohjasi paljon tilankäytön suunnittelua.

TAULUKKO 9. Tilaohjelma hankesuunnitelmassa

Tilaohjelma	hym ²	Lisätietoja
Keittiö	12,5 m ²	
Olohuone	37 m ²	
Makuuhuone 1	12,5 m ²	Vanhemmat
Makuuhuone 2	10 m ²	
Makuuhuone 3	10 m ²	
Työhuone	8 m ²	
Eteinen	5 m ²	
Kodinhoitohuone	11 m ²	
Pesuhuone	5 m ²	
Sauna	2,5 m ²	
Wc	2,5 m ²	
yht.	116 m ²	

Kohteen huoneistotyyppi on 5h+k+psh+khh+wc+s, tilaohjelman hyötyala on 116 m² ja suunnitellun kohteen huoneistoala 125,5 m². Liikennealueet ovat pääasiassa toissijaisia liikennealueita, eli ne eivät ole käytävinä vaan osana esimerkiksi olohuonetta. Hanke-suunnitelmassa olevasta kuvasta 6 (sivulla 28) voidaan todeta, että kohde on tilankäytöltään tehokas.

5.1.2 Rakennuksen muoto

Rakennuksen energiatehokkuuden kannalta on edullisinta, että rakennus olisi mahdollisimman yksinkertaisen muotoinen (9, s. 17). Alustavissa luonnoksissa kohde oli suorakulmaisen muotoinen, mutta tilankäytön tehokkuuden kannalta eteisen ja työhuoneen kokoa oli järkevin pienentää ja tehdä talon nurkkaan sisennys. Tämän muutoksen jälkeen muotojen suhdeluvut ovat vielä suhteellisen hyvillä lukemilla. Taulukossa 10 esitetään suunnitteluratkaisun muotokertoimet A/V ja A/A ja vertaillaan niitä optimaaliseen ratkaisuun. Optimaalinen ratkaisu samankokoisessa rakennuksessa olisi 2-kerroksinen, tasasivuinen, kuution mallinen rakennus.

TAULUKKO 10. Rakennuksen muotokertoimet

	Suunnitteluratkaisu	Vertailuratkaisu
A/V	0,795	0,70
A/A	2,998	2,25
Painotettu A/A	0,422	0,37

Painotettu muotokerroin lasketaan rakennuksen rakenteiden U-arvot huomioiden.

5.1.3 Ikkunat ja aukot

Ikkunapinta-alaa pyrittiin rajaamaan mahdollisuuksien mukaan ja mahdolliset ikkunat suuntaamaan etelään. Lisäksi suurien ikkunoiden kohdalle päätettiin rakentaa katos, jolla saadaan hallittua kesäisin yllämpenemistä. Lisäksi kaikkiin ikkunoihin asennetaan sälekaihtimet.

Kohteen ikkunapinta-alaksi saatiin 14 %, joka on lähes nollaenergiatalon suosituksia jopa pienempi. Ikkunoiden U-arvoksi asetettiin $< 0,8$ ja lasien g-arvoksi $> 0,45$.

5.2 Rakenteelliset ratkaisut

Rakenteellisilla ratkaisuilla voidaan vaikuttaa suuresti rakennuksen lämpöhäviöihin. Lämpöhäviöt eivät näy merkittävästi E-luvun laskennassa. Lisäksi lämpöhäviöt vaikuttavat merkittävästi asumismukavuuteen (9, s. 60). Tasauslaskennat on esitetty liitteessä 5 -energiälaskelmat

Rakenteellisia ratkaisuja vertailtaessa havaittiin, että suunnittelun ja rakentamisen laadulla on todella merkittävä vaikutus energiatehokkuuteen rakennuksen tiiveyden kannalta. Rakenteellisia vertailuja tehtiin kahdella eri rakenneratkaisulla, jotka oli valittu vaihtoehtoiksi hankesuunnitteluvaiheessa. Rakennejärjestelmistä päädyttiin vaihtoehtoon D, joka on tehokkaampi ratkaisu kuin vaihtoehto A, koska tehokkaammalla rakenneratkaisulla saadaan pienempien lämpöhäviöiden lisäksi varmempi rakennuksen tiiveys.

Tällaisia rakenneratkaisuja on käytetty työmailla noin 6 vuoden ajan. Esimerkiksi Oulun Resca (Renewable Energy Solutions in City Areas) -hankkeessa toteutettiin pientalo täällä rakennejärjestelmällä D ja tulokset olivat hyviä (12.). Hankkeessa seurattiin kosteuskäyttäytymistä rakenteiden sisällä. Hankkeen lisäksi rakenneratkaisulla on toteutettu noin 100 pientaloa ja aluerakennus-asuntoa lähinnä pääkaupunkiseudulle kehä III sisäpuolelle. Polyuretaaniratkaisuja on rakennettu jo vuosikymmenien ajan. Palomitoituksessa tulee huomioida rakenteiden kantavuus, koska kantavat rakenteet jäävät palo-osaston ulkopuolelle.

Ennen rakennuksen toteutusta kohteelle tulee tehdä erilliset rakennesuunnitelmat. Tässä työssä esitetyt suunnitelmat ovat suuntaa antavia ja arkkitehtisuunnittelua ohjaavia sekä antavat lähtötietoja muihin suunnitelmiin.

5.2.1 Rakennetyypit

Rakennejärjestelmiä otettiin lopulliseen vertailuun kaksi. Tehokkaammalla rakenneratkaisulla D voidaan vähentää lämpöhäviöitä jopa yli 25 %. Tämän vaikutus ostoenergian

määrään tai E-lukuun ei ole kuitenkaan yhtä suuri. D-ratkaisulla ostoenergian määrä on noin 10-13 % vähemmän. Rakennetyypit on esitelty liitteessä 6.

Tehokkaamman rakenneratkaisun edut ovat

- tiiveys
- rakenteellisten kylmäsiltojen vähyys
- huomattavasti pienemmät lämpöhäviöt.

5.2.2 Kylmäsilat

Rakennuksen rakennetyypit suunniteltiin niin, että niissä on kiinnitetty erityistä huomiota kylmäsiltoihin. Rakennuksen vaipassa ei ole eristekerroksen lävistäviä runkotalppia ollenkaan. Sisäpuolen koolaus on kiinnitetty runkoon 5*300 ruuvein, jotka ovat seinän ja yläpohjan ainoat kylmäsilat. Kylmäsiltoilla on suuri merkitys rakenteen lämpöhäviöihin ja asumismukavuuteen (9, s. 58-60).

5.2.3 Tiiveys

Rakennuksen tiiveystavoitteeksi asetettiin 0,6 1/h. Tavoitetiiveyden saavuttamiseksi tulee suunnittelussa kiinnittää erityistä huomiota detajji-suunnitteluun sekä rakenteiden yksinkertaisuuteen. Opinnäytetyössä suunnitellun kohteen detajjisuunnitelmat on esitetty liitteessä 7.

Rakennusvaiheessa rakentamisen laatuun ja rakennusvaiheiden oikea-aikaiseen toteutukseen tulee kiinnittää huomiota. Rakennuksen ilmatiiveys päätettiin mitata heti, kun vaippa on saatu umpeen, ja mahdolliset vuotokohdat korjataan. Rakennuksen vaipan tiiveyden parantamiseksi jokaiseen läpivientiin asennetaan erillinen läpivientikappale. Lisäksi polyuretaanieristeen saumat tiivistetään elastisella polyuretaanivaahdolla sekä saumateipillä saumojen tiiveyden kestävyuden parantamiseksi. Valitulla rakenneratkaisulla on saatu rakennettua pientaloja jopa $q_{50}=0,1$ 1/h tiiveyteen.

5.3 Talotekninen suunnittelu

Taloteknisessä suunnittelussa lämmitysjärjestelmällä on suuri vaikutus rakennuksen ostoenergian hintaan. Vertailujärjestelmiksi valittiin maalämpö ja poistoilmalämpö, joiden käyttöä voidaan tehostaa paikallisesti tuotetulla energialla. Yleensä pientaloissa energia tuotetaan paikallisesti aurinkopaneelien avulla. Ilmanvaihdon LTO:n hyötysuhde vaikuttaa energian kulutukseen. Nykyiset ilmanvaihtolaitteiden lämmöntalteenotto on tehokas, eikä erilaisilla ilmanvaihtokoneilla saavuteta suuria eroja.

Ennen rakennuksen toteutusta kohteelle tulee tehdä erilliset talotekniset suunnitelmat. Tässä työssä esitetyt suunnitelmat ovat suuntaa antavia ja arkkitehtisuunnittelua ohjavia sekä antavat lähtötietoja muihin suunnitelmiin.

5.3.1 Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmiä vertailtaessa vaihtoehtoiksi nousivat maalämpö sekä poistoilmalämpö. Poistoilmalämpöpumpun etuna on halvempi asennuskustannus, mutta se on huomattavasti herkempi energiatehokkuudeltaan säätöjen suhteen. (Taulukko 11.)

TAULUKKO 11. Lämmitysjärjestelmävertailu

	MLP-D	PILP-D	PILP-D AP
Investointikustannus vrt. PILP-D	7 625,00 €	0,00 €	4 078,00 €
Lämpöhäviöt [W/K]	68,45	63,68	63,68
E-luku	53	67	55
Todellinen ostoenergia [kWh/m²a]	46,11	61,23	51,58
Tilojen lämmitys	10,91	13,5	13,5
IV-lämmitys	1,18	16,7	16,7
Lämmin käyttövesi	10,17	10	10
Sähkölaitteet	23,84	21,02	11,38
Jäähdytys	0	0	0
Ostoenergian hinta (€/vuosi)	720,47 €	956,72 €	805,94 €
Ostoenergian hinta 15 vuotta	10 807,03 €	14 350,78 €	12 089,06 €
Ostoenergian hinta 30 vuotta	21 614,06 €	28 701,56 €	24 178,13 €
Kokonaiskustannus 15 vuotta	18 432,03 €	14 350,78 €	16 167,06 €
Kokonaiskustannus 30 vuotta	29 239,06 €	28 701,56 €	28 256,13 €
Vertailu 15 vuoden mukaan		halvin!	
Erotus	4 081,25 €	0,00 €	1 816,28 €
Vertailu 30 vuoden mukaan			halvin!
Erotus	982,94 €	445,44 €	0,00 €

MLP-D = Maalämpö, rakennejärjestelmä D

PILP-D = Poistoilmalämpöpumppu, rakennejärjestelmä D

PILP-D AP = Poistoilmalämpöpumppu aurinkopaneelein, rakennejärjestelmä D

Taulukon 11 kustannusvertailu tehtiin siten, että lämmitysratkaisuille laskettiin investointikustannukset sekä ostoenergian kulutuksesta aiheutuvat kustannukset 15 ja 30 vuoden ajalta. Laskennassa ei ole käytetty korkotason nousua, mikä parantaa hieman suu-
remman investoinnin tuloksia laskennassa. Kaikki lämmitysratkaisut tarvitsevat os-
toenergiana ainoastaan sähköä, joten laskelmat tehtiin tämän hetken sähkön energia- ja

siirtohinnan summana. Sähkön hintaa ei voida ennustaa, mutta jos sähkön hinta nousisi merkittävästi tämän hetken tasosta, vähiten energiaa kuluttava lämmitysratkaisu tulisi todennäköisesti 30 vuoden ajalla järkevimmäksi ratkaisuksi, koska kaikki ratkaisut ovat kustannuksiltaan niin lähellä toisiaan.

Kokonaiskustannukset laskettiin 15 ja 30 vuodelle, joka on käytännössä molempien lämmitysjärjestelmien käyttöikä. Molemmissa lämmitysmuodoissa todennäköisesti tulee huoltotarvetta, mm. kompressorin uusinta noin 10 vuoden välein, mutta tätä ei ole huomioitu laskelmissa.

Laskelmista pääteltiin, että maalämpö ei ole välttämättä se paras ratkaisu tällaisessa kohteessa. Poistoilmalämpöpumppu varustettuna aurinkopaneelein tulee halvimmaksi ratkaisuksi 30 vuoden aikana. Lisäksi se on halvempi ratkaisu 15 vuoden aikana kuin maalämpö. Pelkällä poistoilmalämpöpumpulla ei saavuteta tavoite E-lukua, mutta se on halvin vaihtoehto 15 vuoden käyttöiällä laskettuna. Tarkemmat energialaskelmat sekä lähtötiedot ja tasauslaskelmat on esitetty liitteessä 5.

5.3.2 Ilmanvaihto

Ilmanvaihto toimii poistoilmalämpöpumpun avulla. Kohteeseen valittiin poistoilmalämpöpumppu Nilan Compact PC, jonka LTO:n vuosihyötysuhde on 85 %. Ilmanvaihtokanavat kuljetetaan vaipan sisäpuolella alaslasketuissa katoissa sekä koteloinneissa.

5.3.3 Tuloilman viilennys

Poistoilmalämpöpumpulla on mahdollista jäähdyttää taloa, joten rakennuksen jäähdytys toimii ilmanvaihdon osana. Talon ylälämpenemistä on estetty katoksilla, jotta jäähdytystä ei tarvittaisi. Lisäksi katokseen on mahdollista asentaa lasitukset, jolloin auringonsäteilyn aiheuttama ylälämpeneminen saadaan minimoitua.

5.3.4 Aurinkoenergia

Lopulliseen ratkaisuun valittiin aurinkopaneelit, joiden oma sähköntuotanto olisi 1 350 kWh/a. Tällaiseen sähköntuotantoon päästäisiin Oulun ilmastossa noin 1,7 kW:n tehoisella aurinkopaneelijärjestelmällä. Esimerkiksi Areva Solar Oy:n 265 W:n, 1,6 m²:n au-

rinkopaneeleita tarvittaisiin tällaiseen määrään 6 kpl. Kustannusarvio tällaiselle järjestelmälle asennettuna on noin 3 750 €.

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tutustua lähes nollaenergiarakentamiseen Suomessa ja tehdä rakennussuunnitelmat lupavaihetta varten pientaloon Oulun Vaskikankaalle. Lisäksi opinnäytetyössä tarkasteltiin rakennuksen energiankulutusta E-lukulaskurien avulla. Näiden tulosten johtopäätöksenä valittiin alustavasti rakenne- sekä lämmitysjärjestelmä kohteeseen. Nämä tiedot tarkentuvat myöhemmin hankkeen edetessä rakenne- ja LVI-suunnittelijan suunnitelmissa. Kohteesta laadittiin hankesuunnitelma, johon asetettiin energiatehokkuuteen liittyvät tavoitetasot.

Opinnäytetyössä saatiin suunniteltua pientalon rakennussuunnitelmat rakennuslupavaihetta varten ja ainakin suunnitelmavaiheessa päästiin hankesuunnitelmassa asetettuihin tavoitearvioihin. Todelliset tasot mm. rakentamisen laadun osalta nähdään vasta rakentamisvaiheen aikana. Rakennetekniseen tarkasteluun vaikutti merkittävästi tilaajan tuntemus valitusta rakennejärjestelmästä. Työssä tuotettiin detaljisuunnitelmia energiatehokkuuden ja rakentamisen laadun parantamiseksi, ja ne esitellään liitteessä 7. Hankkeen edetessä tulee kohteeseen tehdä tarkemmat talotekniset- ja rakennesuunnitelmat, joissa mitoitetaan ratkaisut kohteeseen sopivaksi.

Suomen kansallinen määritelmä lähes nollaenergiarakentamisesta jää vielä tällä hetkellä melko vapaaksi. Omat energiatehokkuusvaatimukset jouduttiin asettamaan ympäristöministeriön kansallisia vaatimuksia tiukemmaksi, koska vaadittuun energiatehokkuuteen ei oltu tyytyväisiä. Tulevaisuudessa varmasti paikallinen energiantuotanto tulee mahdollistamaan tehokkaat E-luvut, mutta kysymys siitä, vaikuttaako se suoraan kuluttajan maksamaan energian hintaan mitenkään, jää vielä avoimeksi.

Kohde tulee toteutumaan vuoden 2019 aikana jaetulla urakalla, jolloin rakennuttaja tilaa eri urakoitsijoilta osakokonaisuus-urakoita ja vastaa kohteen työvaiheiden yhteensovittamisesta. Kohde toteutetaan elementtirakenteisena ja elementit tilataan Oulun talousalueella toimivalta yritykseltä.

LÄHTEET

1. EPBD 2010/31/EU. 2010. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31 EY rakennusten energiatehokkuudesta, uusittu direktiivi. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=FI>. Hakupäivä 18.2.2018.
2. Reinikainen, Erja – Loisa, Lassi – Tyni, Anni 2015. FInZEB-hankkeen loppuraportti Lähes nollaenergiarakennuksen käsitteet, tavoitteet ja suuntaviivat kansallisella tasolla. Saatavissa: https://tem.fi/documents/1410877/2735615/FInZEB_loppuraportti.pdf/6527928a-809b-4870-9e3e-425fe26c15d1. Hakupäivä 27.2.2018.
3. 1048/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. 2017. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BED0F67A6-AF20-4B3F-B191-7311189B65FD%7D/133978>. Hakupäivä 26.2.2018.
4. Energiatodistus. Saatavissa: <http://www.energiatodistus.info/>. Hakupäivä 6.5.2018.
5. RakMK D3 (2012). 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 18.2.2018.
6. L 16.12.2016/1151. Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta.
7. 1010/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BFD99E48D-F28B-452E-8175-29EA77ABD4CA%7D/133872>. Hakupäivä 27.2.2018.
8. Lylykangas, Kimmo – Andersson, Albert – Kiuru, Jani – Nieminen, Jyri – Päätaalo, Juha 2015. Rakenteellinen energiatehokkuus opas. Saatavissa: http://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/oppaat-ohjeet/ret_opas_20150917.pdf. Hakupäivä 23.2.2018.

9. Sepponen, Mari – Nieminen, Jyri – Tuominen, Pekka – Kouhia, Ilpo – Shemeikka, Jari – Viikari, Meri – Hemmilä, Kari - Nykänen, Veijo 2013. Lähes nollaenergiatalon suunnitteluohjeet. Saatavissa: <http://www.ara.fi/download/noname/%7BE7FE1AD9-4529-4CC5-8063-8D7D078C15E8%7D/24217>. Hakupäivä 20.2.2018.
10. Energiatehokaskoti. Saatavissa: http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/ikkunat_ja_niiden_suuntaus. Hakupäivä 17.5.2018.
11. Hyvin suunniteltu pientalo. 2010. Oulun rakennusvalvonta. Saatavissa: https://www.ouka.fi/c/document_library/get_file?uuid=2d3ed91c-68b3-4584-9926-2708b0c459df&groupId=492090. Hakupäivä 4.4.2018.
12. Hankekortti Dometalot Oy Kodinonni. 2014. Saatavissa: <http://www.rescaoulu.fi/wp-content/uploads/Hankekortti-Dometalot-TulevTalot.pdf>. Hakupäivä 25.5.2018.

LIITTEET

Liite 1. Asemakaava

Liite 2. U-arvolaskelmat

Liite 3. Pohjatutkimus ja pintavaaitus

Liite 4. Rakennussuunnitelmat

Liite 5. Energialaskelmat

Liite 6. Rakennetyypit

Liite 7. Rakennedetaljit